

УДК 621.891

В. Г. КАПЛУН, В. А. ГОНЧАР, П. В. МАТВІІШИН

Хмельницький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ШНЕКА І ЦИЛІНДРА ЕКСТРУДЕРА ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ КОМБІКОРМІВ ДЛЯ ТВАРИН З ДОМІШКАМИ МІНЕРАЛУ САПОНІТУ

*Наведені результати експериментальних досліджень зносостійкості різних сталей з різною термічною і хіміко-термічною обробкою в корозійно-абразивному середовищі на спеціальних машинах тертя, що моделювали умови роботи екструдерів при переробці фуражного зерна з домішками мінералу сапоніту. Розроблені рекомендації для підвищення зносостійкості деталей вузла екструдерування.*

*Ключові слова: зносостійкість, азотовані шари, тліючий розряд, абразивне середовище.*

V. G. KAPLUN, V.A. GONCHAR, P. V. MATVIISHEN

Khmelnitsky National University

### RESISTANCE WHEN MANUFACTURING FEED GRAIN MIXED FODDER WITH THE ADDITIVES OF MINERAL SAPONITE

*Abstract - The article highlights the results of experimental research of the wear resistance of different structures of steels with different thermal and chemical-thermal treatment in corrosive and abrasive medium on special friction machines that modelled the working conditions of the extruders when processing feed grain with the additives of saponite. Comparative study showed that metal wear resistance in corrosive and abrasive medium at higher temperatures depends not only on the hardness of friction surface, but also on its structure, phase composition and hardness of gradient change in the depth of the hardened layer. To provide extruder's high wear resistance when manufacturing feed grain mixed fodder with the additives of saponite it is recommended to make the details of extruding assembly unit of steel H12 that is strengthened by nitrohardening.*

*Keywords: wearproofness, nitrated layers, smouldering digit, abrasive environment.*

#### Вступ

Підвищення зносостійкості і надійності машин є одним з важливих завдань машинобудування. Баротермічна переробка зерна різних культур з добавками мінералу сапоніту методом екструдерування є перспективною технологією виготовлення високоефективних комбікормів для тварин. Після такої переробки високомолекулярні органічні сполуки в зерні переходять в нижчі, які легше засвоюються організмом тварин. Засвоюваність такого комбікорму досягає 96%. Наявність в комбікормі невеликої кількості (до 5 вагових відсотків до загальної маси) мінералу сапоніту, який містить більше двадцяти цінних для тварин мікроелементів, забезпечує не тільки значний (1,5 – 2 рази) ваговий приріст тварин, але й підвищує якість тваринницької продукції (м'яса і молока) та зменшує захворюваність молодняка [1].

Досвід експлуатації екструдерів при переробці зерна з домішками сапоніту [2] показав, що зносостійкість і довговічність деталей матеріального циліндра низькі. Це обумовлено тим, що мінерал сапоніт має в своєму складі кварцовий пісок і є абразивним матеріалом, а наявність вологи в зерні при температурі баротермічної переробки 140–160°C створює агресивне корозійне середовище. Правильний вибір матеріалу, його термічної та хіміко-термічної обробки має великий вплив на зносостійкість і довговічність деталей екструдера. Тому підвищення зносостійкості шнеків і циліндрів екструдера в таких умовах експлуатації є актуальним завданням.

#### Експериментальна частина

Проводилися експериментальні дослідження зносостійкості різних сталей (20, 45, У8, ШХ15, 38ХМЮА і Х12) з різною термічною і хіміко-термічною обробкою (гартуванням, цементацією, іонним азотуванням і нітрогартуванням) (табл. 1) з метою вивчення впливу структури, твердості, наявності метастабільних фаз в структурі матеріалу та градієнтних дифузійних покриттів на процес зношування в корозійно-абразивному середовищі. Цементация сталі 20 проводилася протягом 16 годин при температурі 920°C з гартуванням в воді від температури 800°C і відпуском на протязі 2 годин при температурі 150°C. Іонне азотування проводилося в безводневому насиченому середовищі (суміші 75%N<sub>2</sub> + 25%Ar) при температурі 570°C, тиску в вакуумній камері 240Па на протязі 6 годин. Технологія нітрогартування сталі Х12 включала іонне азотування з наступним гартуванням від температури 1050°C з метою одержання в структурі матеріалу значної кількості метастабільного залишкового аустеніту.

Дослідження проводились на спеціальній установці [3–5], що моделювала умови роботи екструдера, при тиску 4 МПа, швидкості ковзання 1,37 м/с і температурі 140°C в модельному середовищі (водний розчин муки і сапоніту в співвідношеннях 8:9:1 відповідно).

В табл. 1, 2 наведені результати порівняльних експериментальних досліджень зносостійкості зразків з різних сталей, що зміцнювались за різними технологіями.

На основі одержаних даних (табл. 1, 2) побудовані графіки залежності зносу (рис. 1а) та

інтенсивності зношування (рис. 1б) досліджуваних зразків в залежності від шляху тертя.

Таблиця 1

**Знос зразків з різних сталей в середовищі модельного розчину при різному шляху тертя**

№	Марка сталі та її обробка	Твердість поверхні, МПа	Знос, мкм			
			Шлях тертя, м			
			3000	6000	9000	12000
1	сталь 20 без обробки	2310	68	132	195	258
2	45 гартування	5180	53	103	153	203
3	У8 гартування	6500	48	91	134	177
4	ШХ15 гартування	6510	43	80	116	152
5	X12 гартування	6700	39	72	105	138
6	38ХМЮА іонне азотування	10050	25	43	63	88
7	45 іонне азотування	5450	26	47	70	98
8	ШХ15 іонне азотування	7860	24	43	64	90
9	X12 іонне азотування	8600	22	39	58	82
10	сталь 20 цементация	6950	28	52	78	108
11	X12 нітрогартування	8100	15	25	38	55

Таблиця 2

**Інтенсивність зношування зразків з різних сталей в середовищі модельного розчину при різному шляху тертя**

№	Марка сталі та її обробка	Твердість поверхні МПа	Інтенсивність зносу, $I \times 10^{-8}$			
			Шлях тертя, м			
			3000	6000	9000	12000
1	сталь 20 без обробки	2310	2,2	2,1	2,1	2,1
2	45 гартування	5180	1,7	1,7	1,7	1,6
3	У8 гартування	6500	1,6	1,4	1,4	1,4
4	ШХ15 гартування	6510	1,4	1,2	1,2	1,2
5	X12 гартування	6700	1,3	1,1	1,1	1,1
6	38ХМЮА іонне азотування	10050	0,8	0,6	0,7	0,8
7	45 іонне азотування	5450	0,8	0,7	0,7	0,9
8	ШХ15 іонне азотування	7860	0,8	0,6	0,7	0,8
9	X12 іонне азотування	8600	0,7	0,5	0,6	0,8
10	сталь 20 цементация	6950	0,9	0,8	0,8	1,4
11	X12 нітрогартування	8100	0,5	0,33	0,43	0,57

З рис. 1 видно, що в усіх зразках в початковий період зношування відбувається припрацювання поверхонь тертя, при якому інтенсивність зношування поступово зменшуються. Для сталей з однорідними властивостями по глибині (сталь 20 без обробки та гартовані сталі 45, У8, ШХ15, Х12) інтенсивність зношування стабілізується, а величина зносу змінюється прямопропорційно шляху тертя. Для азотованих сталей (38ХМЮА, 45, ШХ15, Х12) та цементованої сталі 20, які мають змінні властивості по глибині дифузійного покриття, інтенсивність зношування поступово зростає після припрацювання зі збільшенням шляху тертя та наближується до інтенсивності зношування основи. При цьому їх знос змінюється не прямопропорційно в залежності від шляху тертя.

На рис. 2 наведена інтенсивність зношування різних сталей в модельному середовищі після  $12 \times 10^3$  м шляху тертя. З рисунка видно, що для не легованих сталей (20, 45, У8), які мають однорідні властивості по глибині, існує лінійна, обернено пропорційна залежність інтенсивності зношування від твердості поверхні тертя, що підтверджується дослідженнями інших авторів [6, 10] для умов абразивного зношування. Наявність легуючих елементів в сталях (38ХМЮА, ШХ15, Х12) сприяє зменшенню інтенсивності зношування в умовах абразивного зношування [6–9]. Особливо великий вплив на інтенсивність зношування сталей має кількісний вміст хрому. Зі збільшенням вмісту хрому в сталі інтенсивність зношування зменшується, що підтверджується інтенсивністю зношування сталей ШХ15 і Х12, в яких вміст хрому відповідно складає 1,3 та 12%. Серед гартованих сталей найнищу інтенсивність зношування показала сталь Х12 (рис. 2, поз. 5). Це пояснюється не тільки великим вмістом хрому в сталі, але і наявністю понад 50% залишкового аустеніту в структурі матеріалу, що утворився при її гартуванні від температура 1050 °С. Залишковий аустеніт при циклічному деформуванні в процесі абразивного зношування перетворюється в мартенсит [9], поглинаючи при цьому частину енергії активації в процесі тертя, що сприяє підвищенню зносостійкості матеріалу [11].

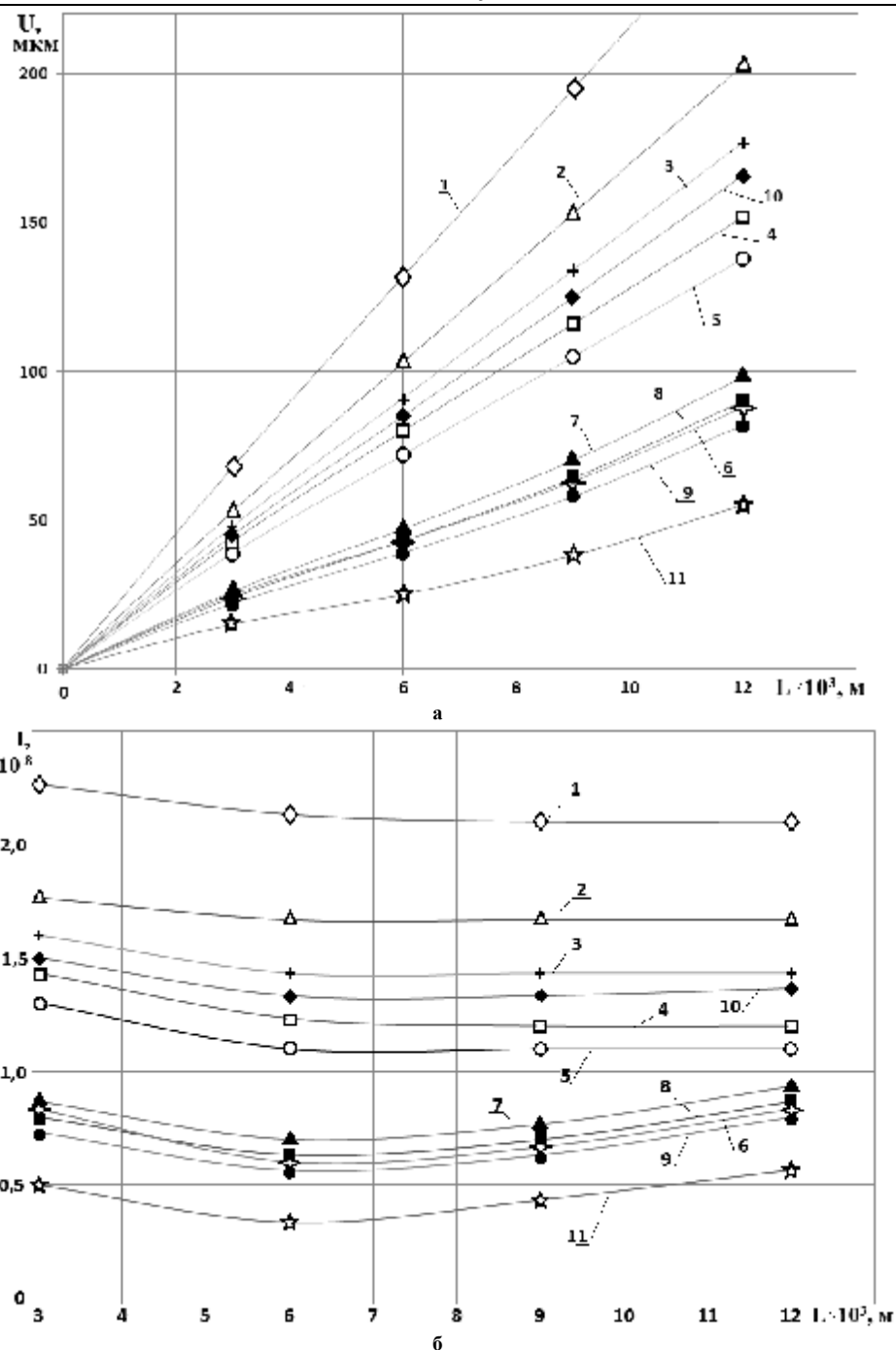


Рис. 1. Залежність зносу (а) та інтенсивності зношування (б) зразків з різних сталей від шляху тертя:  
 1 – сталь 20 без термообробки; 2–5 – гартовані сталі (2 – 45, 3 – У8, 4 – ШХ15, 5 – Х12);  
 6–9 – азотовані сталі (6 – 38ХМЮА, 7 – 45, 8 – ШХ15, 9 – Х12); 10 – сталь 20 цементована; 11 – Х12 нітрогартування

Результати досліджень показують, що зразки зміцнені за технологією іонного азотування в плазмі тліючого розряду в безводневому середовищі мали вищу зносостійкість в порівнянні з іншими технологіями. Це наглядно видно з рис. 1 криві 6–9, які показують, що величина зносу і інтенсивність зношування досліджуваних сталей після азотування майже в 2 рази менше в порівнянні з їх значеннями після гартування. Слід відзначити, що переважна частина метастабільного залишкового аустеніту, який утворився при гартуванні сталі Х12, в процесі азотування розпадається в зв'язку з нижчою температурою мартенситних перетворень (<290°C [9]) в порівнянні з температурою азотування.

Нітрогартування передбачає попереднє азотування з послідуочим гартуванням. Це забезпечує наявність в структурі матеріалу метастабільного залишкового аустеніту. При цьому за рахунок високої температури гартування частина нітридів на поверхні розпадається і азот дифундує в глибину азотованого шару, збільшуючи його товщину (рис. 3). Це сприяє підвищенню зносостійкості сталі як за рахунок перетворень залишкового аустеніту при циклічному навантаженні, так і за рахунок його легування азотом в порівнянні з традиційною технологією азотування (гартування з послідуочим азотуванням). З рис. 1 та 2 видно, що зносостійкість зразків з нітрогартуваної сталі Х12 в 1,5 раз вища в порівнянні з азотованою і в 3 рази вища в порівнянні з гартованою.

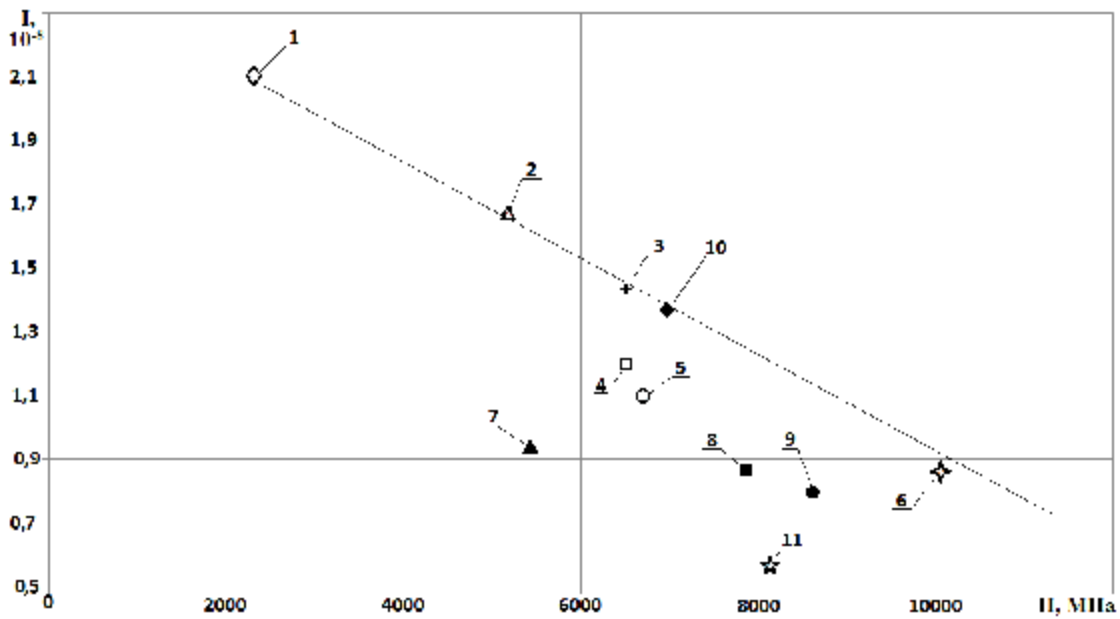


Рис.2. Інтенсивність зношування різних сталей в модельному середовищі після  $12 \times 10^3$  м шляху тертя: 1 – сталь 20 без термообробки; 2–5 – гартовані сталі (2 – 45, 3 – У8, 4 – ШХ15, 5 – Х12); 6–9 – азотовані сталі (6 – 38ХМЮА, 7 – 45, 8 – ШХ15, 9 – Х12); 10 – сталь 20 цементована; 11 – Х12 нітрогартування

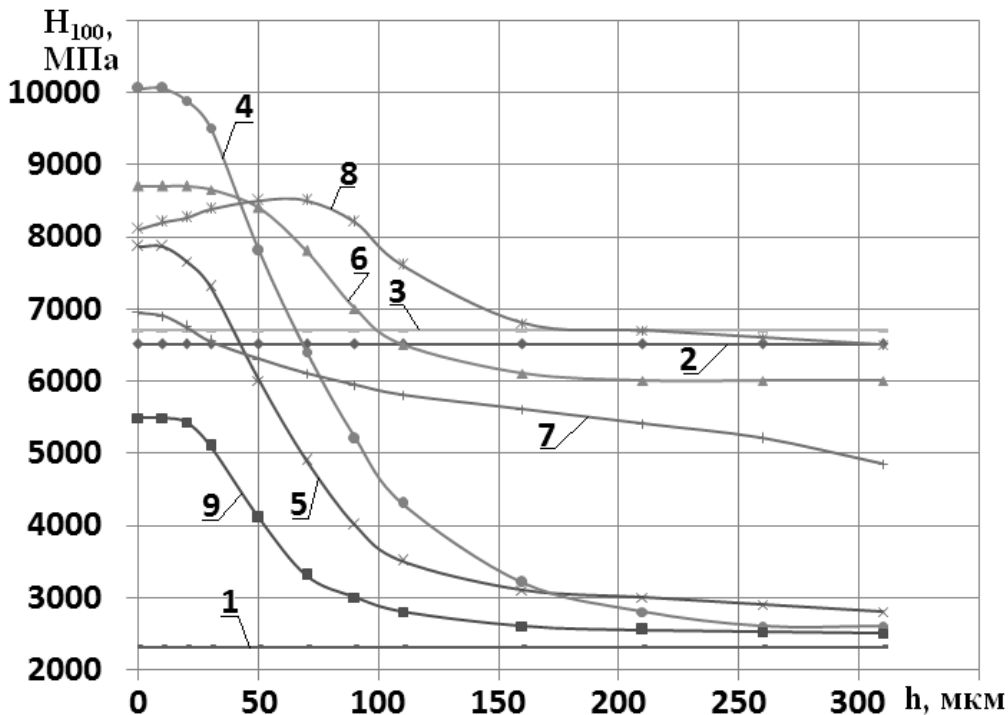


Рис. 3. Розподіл твердості по глибині поверхнього шару різних сталей при різних видах термічної і хіміко-термічної обробки: 1 – сталь 20 без термообробки; 2 – сталь ШХ15 гартована; 3 – сталь Х12 гартована від температури 1050 °С; 4 – 38ХМЮА без термообробки азотована; 5 – ШХ15 без термообробки азотована за режимом 5; 6 – Х12 гартована з наступним азотуванням; 7 – сталь 20 цементована; 8 – сталь Х12 нітрогартування від температури 1050 °С; 9 – сталь 45 азотована без термообробки

### Висновки

Таким чином, проведені порівняльні дослідження показали, що зносостійкість матеріалів в корозійно-абразивному середовищі при підвищених температурах залежить не тільки від твердості поверхні, але і від його структури та фазового складу і зміни градієнта твердості по глибині зміцненого шару. Для забезпечення високої зносостійкості екструдерів при виготовленні комбікормів для тварин з домішками мінералу сапоніту рекомендується використовувати для виготовлення деталей вузла екструдування сталь Х12, зміцнену за технологією нітрогартування.

### Література

1. Засуха Т.В. Нові дисперсні матеріали у тваринництві / Засуха Т.В. – Вінниця : Арбат, 1997. – 224

с.

2. Каплун В.Г. Экструдирование зернового сырья с сапонитом / В.Г. Каплун, В.С. Павлов, Н.А. Мазур // Комбикорма. – 2001. – № 3. – С. 24.
3. Гончар В.А. Методика дослідження зносостійкості шнека екструдера для переробки фуражного зерна з добавками мінералу сапоніту / В.А. Гончар // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2008. – № 4. – С. 19–21.
4. Каплун В.Г. Дослідження зносостійкості пар тертя в середовищі фуражного зерна з добавками мінералу сапоніту / В.Г. Каплун, В.А. Гончар // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2011. – № 2. – С. 17–20.
5. Гончар В.А. Порівняльні дослідження зносостійкості зразків з різними властивостями в модельному абразивному середовищі / В.А. Гончар // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2012. – № 2. – С. 38–41.
6. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / Тененбаум М. М. – М. : «Машиностроение», 1966. – 331 с.
7. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / Ткачев В.Н. – [2-е изд., доп.]. – М. : Машиностроение, 1971. – 264 с.
8. Износостойкость оборудования для переработки полимерных материалов / [А.Н. Гладченко, В.Г. Зверлин, С.Д. Петренко, И.В. Шевеля]. – М. : Машиностроение, 1992. – 256 с.
9. Долговечность оборудования огнеупорного производства / [В.С. Попов, Н.Н. Бриков, Н.С. Дмитриченко, П.Г. Приступа]. – Изд-во «Металлургия», 1978. – 232 с.
10. Хрущов М.М. Исследования изнашивания металлов / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 352 с.
11. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Костецкий Б. И. – К. : «Техника», 1970. – 395 с.

## References

1. Zasuha T.V. Novi dispersni materiali u tvarinnictvi. Vinnicja: Arbat, 1997, – 224s.
2. Kaplun V.G. Jekstrudirovanie zernovogo syr'ja s saponitom// V.G. Kaplun, V.S. Pavlov, N A. Mazur / Kombikorma №3, – 2001,– S24.
3. Gonchar V.A. Metodika doslidzhennja znosostijkosti shneka ekstrudera dlja pererobki furazhnogo zerna z dobavkami mineralu saponitu // Problemi tribologii (Problems of Tribology), 2008.-№4 -S. 19-21.
4. Kaplun V.G. Doslidzhennja znosostijkosti par tertja v seredovishhi furazhnogo zerna z dobavkami mineralu saponity/ V.G.Kaplun, V.A. Gonchar // Problemi tribologii (Problems of Tribology),2011.-№2 -S. 17-20.
5. Gonchar V.A. Porivnjal'ni doslidzhennja znosostijkosti zrazkiv z rizmimi vlastivostjami v model'nomu abrazivnomu seredovishhi / Problemi tribologii (Problems of Tribology)– 2012., №2.-S.38-41.
6. Tenenbaum M. M. Iznosostojkost' konstrukcionnyh materialov i detalej mashin pri abrazivnom iznashivanii. M., «Mashinostroenie», 1966, 331 s.
7. Tkachev V.N. Iznos i povyshenie dolgovechnosti detalej sel'skohozjajstvennyh mashin. - 2-e izd., dop. - M.: Mashinostroenie, 1971. - 264 s.
8. Gladchenko A.N. Iznosostojkost' oborudovanija dlja pererabotki polimernyh materialov / A.N. Gladchenko, V.G. Zverlin, S.D. Petrenko, I.V. Shevelja. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 256 s.
9. Popov V.S. Dolgovech'nost' oborudovanija ognepurnogo proizvodstva / V.S.Popov, N.N. Brikov, N.S. Dmitrichenko, P.G. Pristupa // Izd-vo «Metalurgija».–1978.–232 s.
10. Hrushhov M.M. Issledovanija iznashivanija metallov / M.M. Hrushhov, M.A. Babichev. - M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. - 352 s.
11. Kosteckij B. I. Trenie, smazka i iznos v mashinah. Kiev, «Tehnika», 1970, 395 s.

Рецензія/Peer review : 13.6.2013 р.

Надрукована/Printed :21.9.2013 р.

Статтю представляє: д.т.н., проф. Каплун В.Г.